Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen





Klimawandel und Boden

Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort

Klimawandel in Nordrhein-Westfalen
Wir handeln!

www.umwelt.nrw.de
www.klimawandel.nrw.de

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Klimawandel und Boden
Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort

HINWEIS

Das Projekt ist Teil der Anpassungspolitik des Landes Nordrhein-Westfalen und wurde mit Mitteln des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) finanziert. Weitere Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel sowie die Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen finden Sie im Internet unter: **www.klimawandel.nrw.de**

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,



weltweit steigen durch den menschenverursachten Klimawandel die Temperaturen. Ziel meines Ministeriums ist es, dabei zu helfen, den weiteren Klimawandel zu begrenzen – vor allem durch die Entwicklung eines Klimaschutzgesetzes, in dem unter anderem festgelegt werden soll, dass die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 25 und bis 2050 um mindestens 80 Prozent gesenkt werden müssen.

Sicher ist jedoch: Trotz aller Bemühungen für den Klimaschutz werden die Temperaturen bis Mitte des Jahrhunderts zunächst weiter steigen. Welche Auswirkungen dieser Anstieg für Nordrhein-Westfalen besitzt, untersucht seit 2007 das nordrhein-westfälische Umweltministerium in rund 40 Studien, unter anderem für die Bereiche Wasser-, Wald- und Forstwirtschaft sowie Boden und Landwirtschaft.

In dieser Broschüre möchten wir nun die bereits vorliegenden Ergebnisse unserer Untersuchungen zum Bereich „Boden“ vorstellen: Müssen wir uns auf vermehrte Erosion durch Starkregenereignisse einstellen? Verändert sich mit dem Klimawandel auch die Bodentemperatur – und welche Folgen haben die höheren Temperaturen auf das Pflanzenwachstum? Diese und weitere Fragen sollen auf den folgenden Seiten beantwortet sowie Strategien zur Anpassung aufgezeigt werden.

Ich hoffe, dass diese Broschüre zahlreiche und hilfreiche Anregungen zu einer klimawandelbewussten Bodenbewirtschaftung und -pflege geben wird und dazu beiträgt, rechtzeitig auf die Risiken für die nordrhein-westfälischen Böden zu reagieren.

Eine informative Lektüre wünscht

Johannes Remmel, MdL
Minister für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Inhalt

Einführung 6

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden Nordrhein-Westfalens 8

Bodentemperatur und Bodenfeuchte 8

Organische Bodensubstanz und Bodenleben 10

Erosion und Verschlämmung 12

Bodenverdichtung 16

Stoffausträge in das Grundwasser 16

Anpassungsstrategien des Bodenschutzes 18

Fazit und Ausblick 22

Anhang 23

Impressum 26

Einführung

Gesunde Böden sind die Grundlage für ein gutes Pflanzenwachstum. Doch mit dem Klimawandel droht die Bodenqualität in NRW und vielen anderen Teilen der Welt zu leiden.

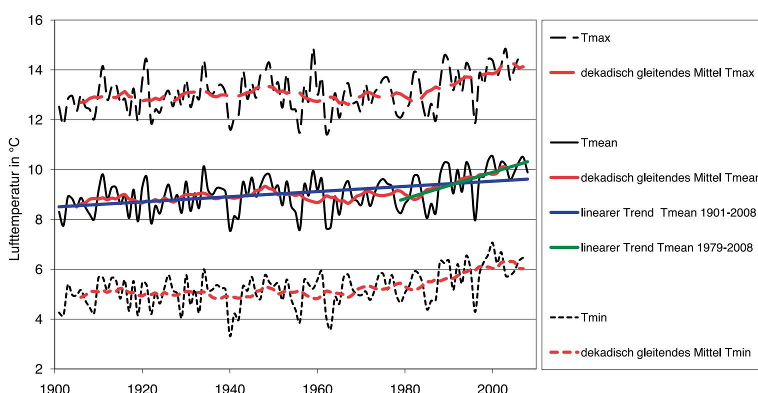
Reduktion des Treibhausgasausstoßes ist dringend notwendig, um Klimafolgen zu begrenzen

Das weltweite Klima verändert sich deutlich. Laut des im Frühjahr 2007 veröffentlichten Vierten Sachstandsberichts für Klimaänderungen des Weltklimarats IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ist die globale Durchschnittstemperatur in den vergangenen 100 Jahren um 0,74 Grad Celsius gestiegen. Die Hauptursachen dieser Erwärmung sind der Ausstoß von Treibhausgasen bei der Energieerzeugung und Verkehr, Brandrodungen von Waldflächen sowie Ackerbau und Viehzucht. Nur durch eine deutliche Reduktion des Ausstoßes klimarelevanter Gase – wie er nun auch von der nordrhein-westfälischen Landesregierung angestrebt wird (um mindestens 80 Prozent bis 2050) – können der Klimawandel und seine Folgen noch in einem beherrschbaren Rahmen gehalten werden. Internationale Klimaexperten empfehlen dringend, die globale Erwärmung auf maximal zwei Grad zu begrenzen.

Land unter: Die globalen Folgen des Klimawandels für die Böden

Doch selbst wenn es gelingt, dieses Ziel zu erreichen, werden die Folgen des Klimawandels in einigen Teilen der Welt schwere Folgen haben – auch für die Qualität und die Verfügbarkeit von Böden. So rechnet der IPCC unter anderem mit einem erheblichen Anstieg des Meeresspiegels, dem große Landflächen zum Opfer fallen könnten. Besonders betroffen sind etwa das nur knapp über dem Meeresspiegel liegende Nildelta in Ägypten sowie rund ein Fünftel der im Gangesdelta gelegenen Fläche Bangladeschs. Allein dort ist der Lebensraum von rund 35 Millionen Menschen durch Überschwemmungen und zunehmende Küstenerosion bedroht. In anderen Teilen der Welt – zum Beispiel in Afrika – ist es wahrscheinlich, dass Böden durch längere Trockenperioden und Dürren zunehmend veröden und die landwirtschaftliche Produktion stark beeinträchtigt wird. Die Folge: Die Unterernährung auf dem Kontinent würde sich noch einmal weiter verstärken. Viele Menschen werden gezwungen sein, ihre Heimat zu verlassen.

Abbildung 1: Jahresmittel der minimalen (Tmin), mittleren (Tmean) und maximalen (Tmax) Tagestemperaturen in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1901–2008. Zusätzlich sind die dekadisch gleitenden Mittel gezeigt sowie lineare Trends der Mitteltemperatur.
(Quelle: LANUV 2010, Datengrundlage: DWD)



Moderat, aber deutlich spürbar: Der Klimawandel in Nordrhein-Westfalen

Derart drastische Konsequenzen sind in Nordrhein-Westfalen zwar nicht zu erwarten. Dennoch ist der Klimawandel auch in unserem Bundesland bereits zu spüren. Die Lufttemperatur ist in den letzten 100 Jahren mit über einem Grad Celsius sogar stärker als im globalen Durchschnitt gestiegen (Abb. 1). Dieser Trend wird sich voraussichtlich bis Ende des 21. Jahrhunderts fortsetzen. Klimaforscher gehen von einer weiteren Temperaturerhöhung zwischen 1,6 und 3,1 Grad Celsius aus. Die Anzahl der Sommertage wird in diesem Zusammenhang voraussichtlich weiter zunehmen; zudem wird von weniger Eis- und Frosttagen ausgegangen (Abb. 2). Die Modellergebnisse zum Klimawandel zeigen einen weitgehend gleichmäßigen Trend zur Erwärmung in allen Regionen des Landes.

Auch die Niederschläge haben sich verändert (Abb. 3). Im Durchschnitt fällt heute zirka 13 Prozent mehr Niederschlag als zu Anfang des vergangenen Jahrhunderts. Seit den 1960er Jahren wurden mehrfach Gebietsmittel von mehr als 1.000 Millimeter Niederschlag jährlich gemessen, während niederschlagsärmere Jahre

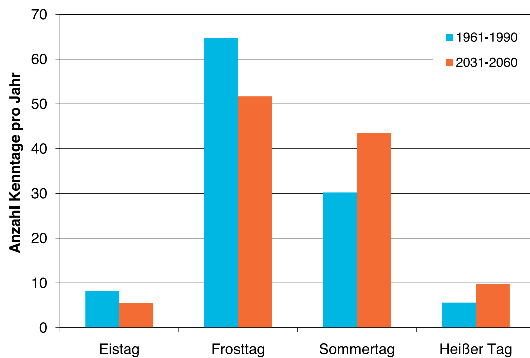


Abbildung 2: Die Anzahl von Eis- und Frosttagen nimmt künftig voraussichtlich ab, Sommertage werden mehr.
(Quelle: MUNLV 2009)

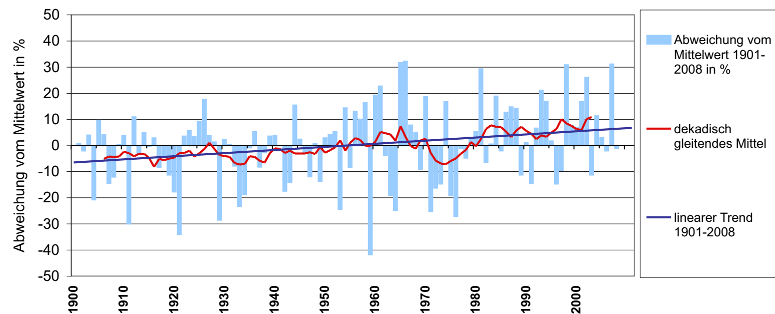


Abbildung 3: Abweichung des mittleren Jahresniederschlags vom langjährigen Mittelwert von 861 Millimeter (1901–2008).
(Quelle: LANUV 2010, Datengrundlage: DWD)

seltener geworden sind. Die Niederschlagszunahme hat mit 19 Prozent vor allem im Winter und Frühling stattgefunden. Im Sommer und Herbst sind bisher kaum Änderungen zu beobachten.

Extremwetterereignisse wie Stürme treten häufiger auf

Gleichzeitig treten heute im Sommer immer häufiger Extremwetterereignisse auf, darunter vor allem orkanartige Stürme und Starkniederschläge. Diese beobachtete Entwicklung in der Vergangenheit kann nicht linear in die Zukunft fortgeschrieben werden. Gleichwohl ist anhand der Ergebnisse der Klimamodelle davon auszugehen, dass in Zukunft im Winter mehr Niederschlag fällt, im Sommer weniger. Insgesamt wird mit einer Zunahme der mittleren jährlichen Gesamtmenge der Niederschläge gerechnet.

Räumlich ungleiche Verteilung der Niederschlagszunahme

Dabei ist von einer räumlich ungleichen Verteilung der Niederschlagszunahmen auszugehen: Während in den Mittelgebirgen die Niederschläge zunehmen, werden sie in der Niederrheinischen Bucht eher rückläufig sein. Es ist davon auszugehen, dass Wetterextreme wie Starkniederschläge über alle Jahreszeiten hinweg häufiger auftreten werden als in der Vergangenheit.

Neue Herausforderungen: Die Folgen des Klimawandels für die Böden NRWs

Diese über die normalen Witterungsschwankungen hinausgehenden klimatischen Änderungen wirken sich direkt auf die Bodenqualität aus: Höhere Bodentemperaturen beeinflussen das Bodenleben, die organische Substanz des Bodens wird schneller abgebaut, Nähr- und Schadstoffe werden schneller mobilisiert und umgewandelt. Die veränderten Niederschlagsbedingungen bewirken, dass Böden im Winter und Frühjahr stärker vernässen, im Sommer und Herbst trocknen sie dagegen häufiger aus. Zudem steigt die Gefahr, dass die trockenen Böden im Sommer durch lokale Starkniederschläge abgeschwemmt werden (Erosion). Die Folgen für das Pflanzenwachstum sind noch nicht vollständig abschätzbar. Zwar dürften der höhere CO_2-Gehalt in der Atmosphäre und die höheren Lufttemperaturen grundsätzlich zu einem verstärkten Pflanzenwachstum führen, zunehmende Wetterextrema und erhöhter Krankheits- und Schädlingsbefall reduzieren jedoch gleichzeitig die Produktionssicherheit. Welche Chancen und Risiken der Klimawandel für die nordrhein-westfälischen Böden im Einzelnen birgt, ließ das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in mehreren Forschungsprojekten untersuchen.

Diese Broschüre fasst nun die Ergebnisse dieser Studien sowie den aktuellen Kenntnisstand zum Thema Boden und Klimawandel zusammen. Beleuchtet werden unter anderem klimatisch bedingte Veränderungen in den Böden, die Auswirkungen auf den Pflanzenstandort und mögliche Anpassungsstrategien.

Folgende Themen werden im Einzelnen betrachtet:

- Bodentemperatur und Bodenfeuchte
- Organische Substanz des Bodens und Bodenleben
- Erosion und Verschlämmung
- Bodenverdichtung
- Stoffaustrag in das Grundwasser

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden Nordrhein-Westfalens

Mehr Bodenerosion, -verschlämmung und -verdichtung – wie die Böden NRWs auf den Klimawandel reagieren werden.

Bodentemperatur und Bodenfeuchte

Die erwarteten Veränderungen der Lufttemperatur und der Niederschläge wirken unmittelbar auf die Böden Nordrhein-Westfalens ein. Temperaturmessungen in Böden bis 100 Zentimeter Tiefe legen offen, dass der gesamte von Pflanzen durchwurzelte Boden bereits auf die Erwärmung reagiert hat (Abb. 4). Die Bodentemperaturen haben entsprechend der Lufttemperatur zugenommen. Jede weitere zukünftige Erwärmung der Atmosphäre wird demnach auch die Bodentemperaturen erhöhen. Mit der Erwärmung geht eine Verlängerung der Vegetationsperiode einher, das Pflanzenwachstum startet im Frühjahr eher und endet im Herbst später (Abb. 5). Gleichzeitig steigern höhere Temperaturen alle biologischen Prozesse im Boden – wie die Vermehrung von Bodenorganismen und Bodentieren, das Wachstum von Wurzeln und die Umsetzungsraten der organischen Bodensubstanz. Das Pflanzenwachstum wird angeregt, der Wasserbedarf der Pflanzen steigt. Gleichzeitig nimmt der Niederschlag gerade in den Sommermonaten ab, es steht weniger Wasser für das Pflanzenwachstum zur Verfügung. Die Folge: In Monaten mit ausbleibenden oder sehr niedrigen Niederschlagsmengen können Pflanzen nicht mehr optimal wachsen. Es treten Trockenschäden an den Pflanzen auf, was geringere Ernteerträge nach sich zieht.

Abbildung 4: Vergleich der Jahresmittel der Boden- und Lufttemperatur an der Station Aachen. (Quelle: Koch 2010)

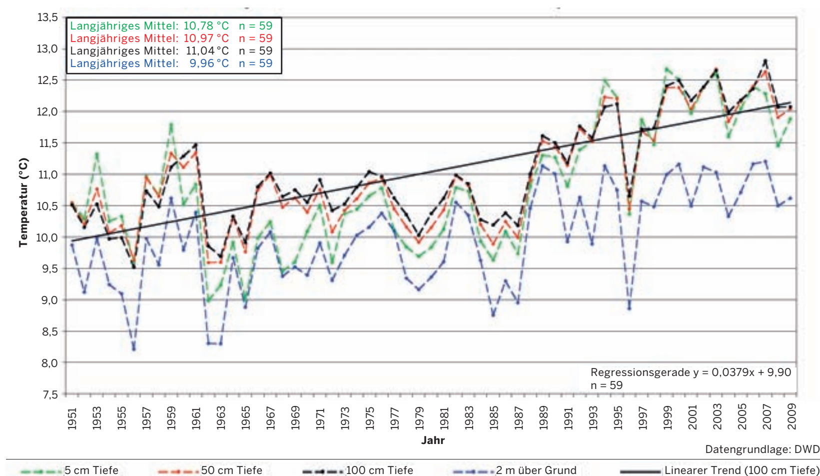
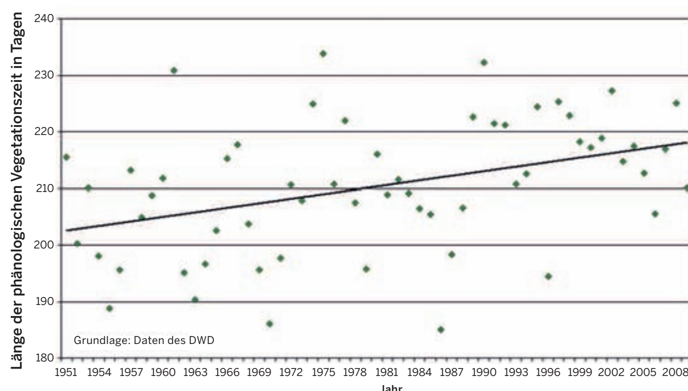


Abbildung 5: Die Vegetationsperiode (in Tagen je Jahr) verlängert sich stetig. (Quelle: LANUV)



Dabei sind die zu erwartenden Auswirkungen der Erwärmung nicht an allen Standorten gleich. Eine besondere Rolle kommt dem pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt zu. Ist dieser gering, wird das Pflanzenwachstum bei einer fortschreitenden Klimaerwärmung zurückgehen. Bei Böden mit hohen pflanzenverfügbaren Wassergehalten wird das Wachstum wahrscheinlich ansteigen.

Die Menge des pflanzenverfügbaren Bodenwassers hängt von der Körnung des Bodens (Sand, Lehm, Ton), der Durchwurzelungstiefe und der Nachlieferung aus Grund- und Stauwasser ab. Tiefgründige Lössstandorte können sehr viel Wasser pflanzenverfügbar speichern, so dass auf solchen Böden der Klimawandel wahrscheinlich höhere Pflanzenerträge ermöglichen wird. Im Gegensatz dazu werden flachgründige oder sandige Böden, die nicht durch kapillar aufsteigendes Grundwasser zusätzlich zum Niederschlag mit Wasser versorgt werden, geringere Pflanzenerträge aufweisen – es sei denn, diese Böden werden zukünftig verstärkt beregnet.

Wie unterschiedlich Böden auf Niederschlagsdefizite reagieren, verdeutlicht Abbildung 6. Der Sandboden, der nur ein geringes pflanzenverfügbares Wasserspeichervermögen besitzt, kann in Jahren mit ausreichender Niederschlagsmenge und optimaler Verteilung wie 2001 einen Winterweizenertrag von 89 Dezitonnen je Hektar ermöglichen. Dieses Ertragsniveau ist vergleichbar mit den Erträgen von Lössböden. In Jahren mit längeren Trockenpe-



Schwammqualitäten: Der tiefgründige Lössboden Parabraunerde nimmt bis zu 450 Liter pro Quadratmeter auf und lässt bei ausreichenden Niederschlägen hohe Erträge erwarten.



Steinige Angelegenheit: Die flachgründige und steinige Rendzina speichert nur etwa 70 Liter pro Quadratmeter. Die Ertragserwartungen sind daher auch bei hohen Niederschlagsmengen eher gering.





Schwere Zeiten: Höhere Temperaturen werden in niederschlagsarmen Regionen die Wasserknappheit verschärfen. Ohne ausreichende Beregnung wird es zu mehr Trockenschäden kommen.

rioden in der Phase der Bestandsentwicklung, insbesondere in den Monaten März bis Mai, fallen dagegen die Erträge auf dem Sandstandort sehr stark ab. So gingen beispielsweise im Jahr 2002, in dem zwischen dem 25. März und dem 9. Mai nur 40 Prozent des langjährigen mittleren Niederschlags fielen, die Erträge um etwa 50 Prozent zurück. In Jahren mit noch ungünstigeren Niederschlagsverteilungen können die Erträge deutlich stärker zurückgehen bis hin zu Totalausfällen. Dagegen puffern Lössböden, die im Wurzelraum sehr viel Wasser pflanzenverfügbar speichern können, solche kurzfristigen Trockenperioden sehr gut ab, die Erträge bleiben auf hohem Niveau.

Im Übrigen reagieren auch natürliche Pflanzengemeinschaften auf den Klimawandel. Feucht- und Nassbiotope sind gefährdet, da sie durch den Klimawandel zeitweise trocken fallen können. Wälder und Forste, die verbreitet auf Böden mit geringem Wasserspeichervermögen angesiedelt sind, werden zukünftig vermehrt durch Trockenheit gefährdet sein.

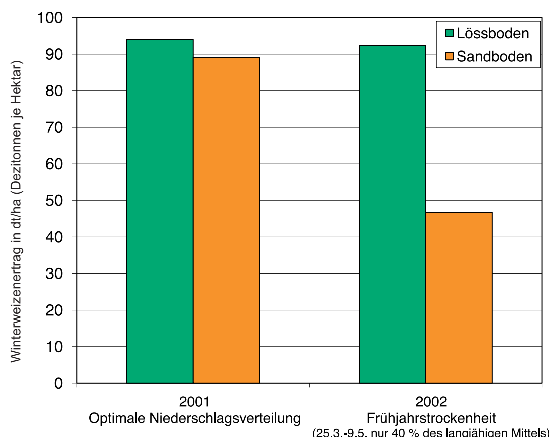


Abbildung 6: Frühjahrstrockenheit bewirkt Ertragsverluste auf Sandböden mit geringem Wasserspeichervermögen. Lössböden können kurzfristige Trockenperioden abpuffern, weil sie viel pflanzenverfügbares Wasser speichern können. (Quelle: Wendland et al. 2007)

Die Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen wird wahrscheinlich regional unterschiedlich vom Klimawandel betroffen sein. Die regionale Niederschlagshöhe und -verteilung sind für die Menge des pflanzenverfügbaren Bodenwassers bedeutsam. In aktuell bereits niederschlagsarmen Regionen wie der Zülpicher Börde werden die erwarteten höheren Temperaturen die Wasserknappheit weiter verschärfen. Selbst auf tiefgründigen Lössstandorten sind hier ohne Beregnung zukünftig Trockenschäden und Ertragsrückgänge wahrscheinlich. Weiterhin ist zu erwarten, dass sandige Böden ohne kapillare Wasserversorgung aus hoch anstehendem Grundwasser auf den Klimawandel mit Ertragsrückgängen reagieren. Andere Regionen – wie zum Beispiel die Mittelgebirge – werden voraussichtlich durch die höheren Temperaturen bei gleichzeitig ausreichendem Niederschlag vom Klimawandel begünstigt. Hier sind höhere Pflanzenerträge zu erwarten. Weitergehende Informationen zu den zukünftigen Veränderungen der pflanzlichen Erträge in der Landwirtschaft können der Broschüre „Klimawandel und Landwirtschaft“ entnommen werden.

Organische Bodensubstanz und Bodenleben

Die Fruchtbarkeit von Böden hängt stark von der organischen Substanz, dem so genannten Humus, und dem Bodenleben ab. Die organische Substanz hat Bedeutung als Speicher und Puffer für Wasser, Nähr- und Schadstoffe. Darüber hinaus trägt sie wesentlich zur Abpufferung von Säureeinträgen bei, bewirkt außerdem eine Stabilisierung des Bodengefüges und hilft damit, Bodenverdichtungen vorzubeugen.



Fruchtbarkeitsgarant: Humus im Boden, erkennbar an der dunkelbraunen Färbung, speichert Nährstoffe und Wasser und ist die Grundlage für das Bodenleben.

Organische Substanzen – wie Pflanzenreste, organische Dünger oder Komposte – werden durch Bodenorganismen zerkleinert und umgewandelt, Humus entsteht. Humus ist jedoch nicht dauerhaft beständig. Er unterliegt auch selbst dem Abbau. Durchschnittlich wird jährlich rund ein Prozent des Humusvorrats der Böden abgebaut. Wird nicht genügend organische Substanz zurückgeführt, sinkt der Humusgehalt der Böden ab.

Höhere Temperaturen verstärken Humusabbau

Die Umwandlungsprozesse im Boden sind von der Temperatur und der Feuchtigkeit abhängig. Mit zunehmender Temperatur wird bei ausreichender Feuchtigkeit die Umsatzrate verstärkt.

Höhere Bodentemperaturen als Folge des Klimawandels können demnach zu einem verstärkten Humusabbau beitragen. Auswertungen vorliegender Bodenuntersuchungen der vergangenen Jahrzehnte lassen vermuten, dass der Humusgehalt unserer Böden bereits abnimmt (Abb. 7). Auslöser hierfür ist jedoch nicht nur der Klimawandel. Auch die Bewirtschaftung hat sich geändert. Eine geringere Anbauvielfalt und zurückgehende Viehhaltung in einigen Regionen Nordrhein-Westfalens tragen wahrscheinlich ihrerseits dazu bei, dass die Humusgehalte zurückgehen.

Zur Entwicklung der Humusgehalte und Humusvorräte läuft aktuell ein mehrjähriges Monitoringprojekt des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Als Ergebnis der ersten Untersuchungskampagne ist festzuhalten: Die Humusgehalte (in Masse-Prozent) und Humusvorräte (in Kilogramm je Quadratmeter bzw. Tonnen je Hektar) sind regional sehr unterschiedlich. Die vieharme Ackerbauregion der Rheinischen Bucht etwa weist die geringsten Humusgehalte und -vorräte auf (Abb. 8). Dagegen werden in der durch Viehhaltung geprägten Westfälischen Bucht die höchsten Humusgehalte und -vorräte ermittelt.

Abbildung 7: Entwicklung der C_{org}-Gehalte in Ackerböden. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler sowie Anzahl der Datenpunkte in den Erhebungsjahren. (Quelle: Preger et al. 2006)

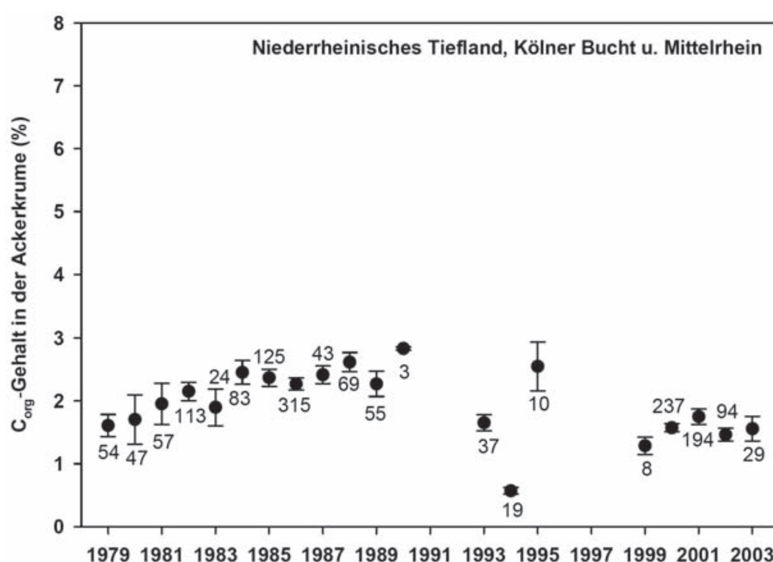
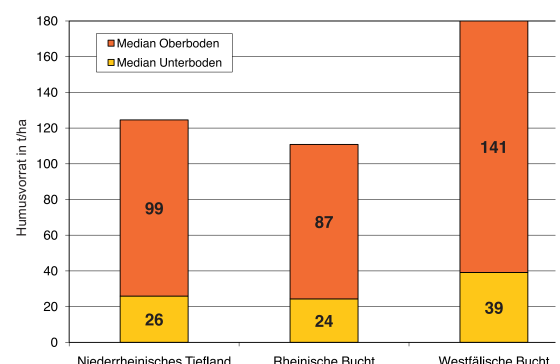


Abbildung 8: Humusvorräte im Ober- und Unterboden differenziert nach Naturräumen. (Quelle: Hädicke, Jacobs, Steudte-Gaudich 2010)



Neben den Untersuchungen zu den Humusgehalten und -vorräten sind von der Universität Bonn unterschiedliche Humusfraktionen analysiert worden (Welp & Amelung 2010). Dazu wurde der Boden mittels Siebung in die Größenfraktionen 2000–250, 250–53 und 53–20 Mikrometer aufgeteilt. In diesen drei Fraktionen wurde anschließend der organische Kohlenstoff analysiert, der so genannte partikuläre organische Kohlenstoff (POM: particulate organic matter). Mit abnehmender Siebgröße werden die Grob- (POM1), Mittel- (POM2) und Fein-POM-Fraktionen (POM3) unterschieden.

POM-Fraktionen reagieren unterschiedlich auf klimatische Änderungen

Die POM-Fraktionen reagieren nach bisherigen Erkenntnissen unterschiedlich auf klimatische Änderungen. Die POM1- und POM2-Fraktionen unterliegen einer höheren Umsetzungsrate im Boden als die Fein-POM-Fraktion. Insofern ist davon auszugehen, dass bei einer Erwärmung die beiden gröberen POM-Fraktionen sensitiver reagieren. Folglich werden Böden mit vergleichsweise hohen POM1- und POM2-Gehalten wahrscheinlich empfindlicher auf Klimaänderungen reagieren als Böden mit geringen Gehalten. Die bisherigen Untersuchungen in den Regionen Rheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland und Westfälische Bucht decken regionale Unterschiede auf (Abb. 9). Während die Böden der Rheinischen Bucht und des Niederrheinischen Tieflands relativ hohe POM3-Anteile aufweisen, sind die Böden der Westfälischen Bucht durch hohe POM1- und POM2-Anteile gekennzeichnet. Als Ursache werden derzeit Bewirtschaftungs- und Bodenunterschiede in Erwägung gezogen. Unabhängig von der genauen Ursache der unterschiedlichen POM-Fraktionierungen in den Regionen kann festgehalten werden, dass die Böden der Westfälischen Bucht wahrscheinlich empfindlicher auf Klimaänderungen reagieren werden.
Klar ist auch, dass ohne ausreichende Zufuhr organischer Substanz der Humusgehalt absinkt, wenn der Anteil Humus zehrender Kulturen wie Rüben, Kartoffeln oder Gemüse in der Fruchtfolge zunimmt (Abb. 10).

Sollte es sich bestätigen, dass die Humusgehalte durch den Klimawandel zurückgehen, werden die Bodenfruchtbarkeit und das Bodenleben negativ beeinflusst. Dadurch werden auch die Pflanzenerträge tendenziell zurückgehen. Weiterhin ist bedeutsam, dass die Böden unsere größten CO_2-Speicher sind. Rund 80 Prozent der weltweiten Kohlenstoffmengen, die am aktiven Kohlenstoffkreislauf in der Biosphäre beteiligt sind, werden in Böden als Humus gebunden. Dabei hat der Humus einen entscheidenden Einfluss auf die meisten natürlichen Bodenfunktionen, insbesondere auf die Wasser- und Stoffkreisläufe und das Bodenleben. Ein Humusschwund würde den Treibhauseffekt weiter verstärken.

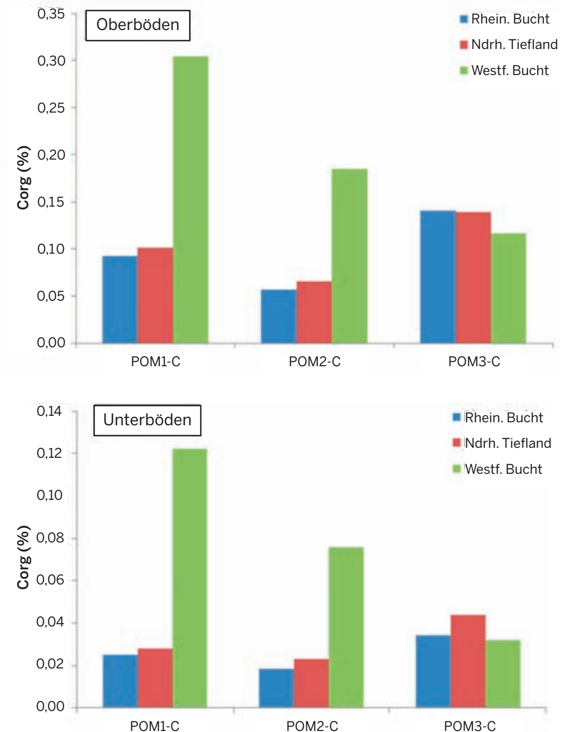


Abbildung 9: C_{org}-Gehalte in den verschiedenen Größenfraktionen der partikulären organischen Substanz von Ackerböden aus verschiedenen Regionen in NRW (POM1-C: 2000-250 µm; POM2-C: 250-53 µm; POM3-C: 53-20 µm). (Quelle: Welp & Amelung 2010)

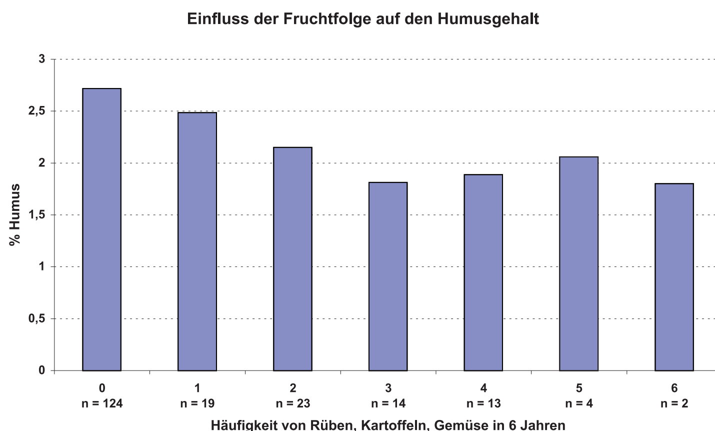


Abbildung 10: Der vermehrte Anbau von Humus zehrenden Kulturen führt zu abnehmenden Humusgehalten. (Datengrundlage: 199 Flächen Humusmonitoring-Projekt; Hädicke, Jacobs, Steudte-Gaudich 2010)

Erosion und Verschlämmung

Böden können durch oberflächig abfließendes Wasser erodieren. Das heißt, Bodenpartikel werden mit dem Wasser abgespült. Niederschlagswasser fließt oberflächig ab, wenn die Böden weniger Wasser aufnehmen können, als Niederschlag fällt. Diese Situation tritt bei wassergesättigten Böden auf. Daher spricht man hier von Sättigungsflächenabfluss.

Auch bei nicht wassergesättigten Böden kann die Wasserinfiltrationsrate in den Boden geringer sein als die Niederschlagsintensität, so dass ein so genannter Infiltrationsüberschuss oder Horton'scher Abfluss entsteht. Diese Situation tritt häufig bei trockenen Böden auf, wenn die Benetzungswiderstände des Bodens einer schnellen Infiltration entgegenstehen sowie wenn die Böden bereits durch vorangegangene Niederschläge verschlämmt sind und das Porensystem der Böden an der Oberfläche verschlossen ist. Bedeutsam für den Infiltrationsüberschuss ist auch die Niederschlagsintensität. So tritt Oberflächenabfluss insbesondere bei Starkniederschlägen auf.

Im Zuge der Schneeschmelze kann Oberflächenabfluss auftreten, wenn der Boden noch gefroren ist.



Offene Wunde: Bodenerosion schädigt die Böden nachhaltig und beeinträchtigt das Pflanzenwachstum.

Abbildung 11: Entwicklung der Regenerosivität (R) von April bis November mit den jeweiligen 95%-Konfidenzintervallen für die Zeiträume 1937–2007 und 1973–2007. (Quelle: Neuhaus et al. 2010)

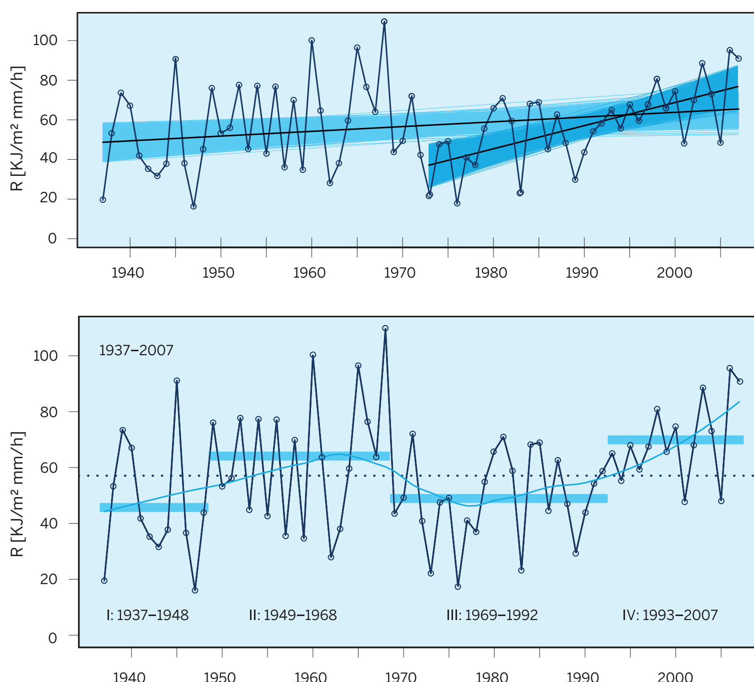


Abbildung 12: Phasen niedriger und hoher Erosivität zwischen 1937 und 2007, jeweils April bis November. In Blau: Phasenmittelwerte; durchgezogene Linie: polynomielle Glättung; gepunktet: Mittelwert 1937–2007. (Quelle: Neuhaus et al. 2010)

Die standörtliche Erosionsgefährdung wird im Wesentlichen bestimmt durch die Körnung des Bodens (Bodenart), die Hangneigung sowie die Niederschlagseigenschaften, die sich durch den Klimawandel verändern.

Die Universität Köln hat in einer aktuellen Studie die Niederschlagsdaten von 1937 bis 2007 in Nordrhein-Westfalen ausgewertet (Neuhaus et al. 2010). Die Studie macht deutlich, dass die erosive Kraft der Niederschläge (Regenerosivität), ausgedrückt als Erosivitätsfaktor ‚R' der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung nach Schwertmann et al. (1990), durchschnittlich um 0,24 R-Faktoreinheiten je Jahr zugenommen hat. Das entspricht einer jährlichen Steigerung von 0,5 Prozent bezogen auf den Ausgangswert im Jahr 1937.

Noch deutlicher tritt die Zunahme der Erosivität hervor, wenn die Zeitspanne 1973 bis 2007 betrachtet wird. Hier betrug die Steigerungsrate 1,17 R-Faktoreinheiten beziehungsweise 2,9 Prozent je Jahr. Die aufgeführten Veränderungen waren im Untersuchungszeitraum nicht gleichmäßig, Phasen hoher und geringer Erosivität haben sich abgewechselt (Abb. 11 und 12).

Die Anzahl der erosiven Ereignisse hat zwischen 1937 und 2007 signifikant zugenommen. Gleichzeitig hat sich der Jahresgang der Regenerosivität deutlich verändert (Abb. 13). In den Monaten Juni bis August ist die stärkste Zunahme der Erosivität in den Jahren 1993 bis

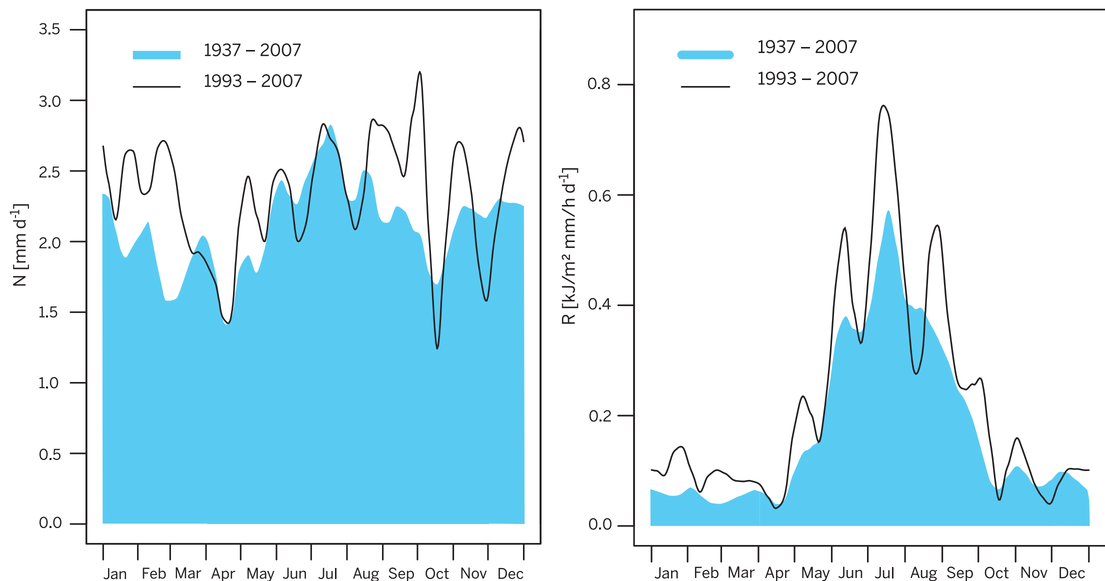


Abbildung 13: Jahresgang des Niederschlags (links) und der Erosivität (rechts), Daten über einen Monat geglättet. In Blau: Tagesmittelwerte des Gesamtzeitraums 1937 bis 2007; in Schwarz: die Tagesmittelwerte des Zeitraums 1993–2007. (Quelle: Neuhaus et al. 2010)

INFO ALLGEMEINE BODENABTRAGSGLEICHUNG (ABAG)

Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG)
Die ABAG ist ein empirisches Erosionsmodell (Schwertmann et al. 1990). Der ABAG liegen umfangreiche Erosionsuntersuchungen auf Messparzellen zugrunde, deren Ergebnisse mit Hilfe der Regressionsanalyse zur Ermittlung erosionsbestimmender Parameter herangezogen wurden. Mit der ABAG wird der langjährige durchschnittliche Bodenabtrag von einzelnen Hängen oder Feldern durch die multiplikative Verknüpfung von sechs Faktoren abgeschätzt. Die ABAG lautet (vgl. auch LWK 2007):

A = R × K × L × S × C × P

A = Langjähriger, mittlerer Bodenabtrag in t/(ha × a) (zu berechnende Zielgröße)
R = Regen- und Oberflächenabflussfaktor: Maß für die Erosivität der Niederschläge, berechnet aus der Niederschlagsintensität aller erosionswirksamen Einzelregen eines Jahres
K = Bodenerodierbarkeitsfaktor: Maß für die Erodierbarkeit des Bodens, berechnet aus einer Reihe von Bodeneigenschaften
L = Hanglängenfaktor: Verhältnis des Bodenabtrags eines Hanges gegebener Länge zum Standardhang der ABAG (22 Meter Länge)
S = Hangneigungsfaktor: Verhältnis des Bodenabtrags eines Hanges gegebener Neigung zum Standardhang der ABAG (neun Prozent Neigung)
C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor: Verhältnis des Bodenabtrags unter beliebiger Bewirtschaftung (zum Beispiel Kulturpflanze) zur Schwarzbrache
P = Erosionsschutzfaktor: Verhältnis des Bodenabtrags bei beliebigen Erosionsschutzmaßnahmen (z. B. Konturpflügen) zu den Verhältnissen ohne jegliche Schutzmaßnahmen

Standörtliche und bewirtschaftungsbedingte Erosionsgefährdung
Mit Hilfe der ABAG-Faktoren lässt sich die standörtliche beziehungsweise potenzielle Erosionsgefährdung von der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung unterscheiden. Die standörtliche Erosionsgefährdung eines Standortes wird mit den Faktoren R, K, und S abgebildet; auf diese Faktoren hat die Bewirtschaftung keinen unmittelbaren Einfluss. Ist ein Boden aufgrund seiner natürlichen Standortfaktoren potenziell erosionsgefährdet, wird die tatsächliche Erosionsgefährdung durch die Art der Bewirtschaftung bestimmt. Der Bewirtschaftungseinfluss kann mithilfe der Faktoren L, C und P ermittelt werden. Werden alle Faktoren miteinander multipliziert, erhält man die tatsächliche Erosionsgefährdung.



Nehmen kaum noch Feuchtigkeit auf: trockene, wasserabweisende Bodenoberflächen im Sommer ...



... und vernässte und verschlämmte Bodenoberflächen im Winter.

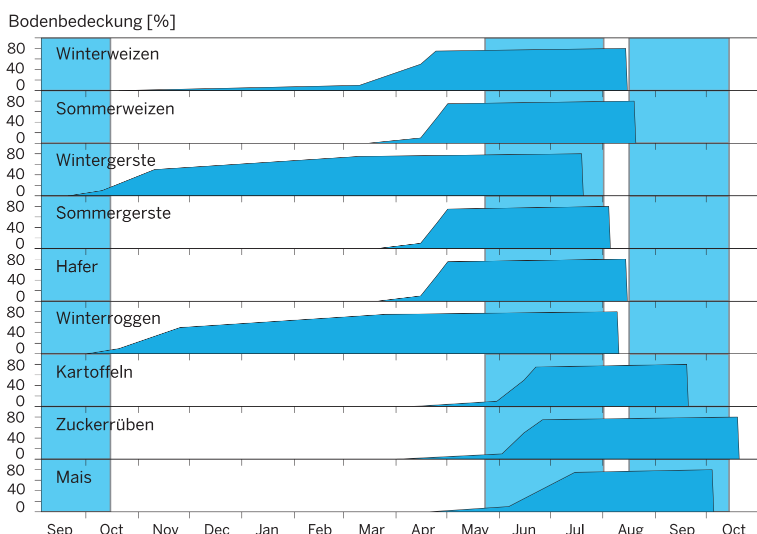
2007 im Vergleich mit dem Gesamtzeitraum 1937 bis 2007 im Jahresgang bei gleichbleibenden Niederschlagsmengen zu verzeichnen. Eine leichte Zunahme der Erosivität ist zudem im Mai, September und Oktober zu beobachten.

Zwar ist keine direkte Extrapolation des Trends der Vergangenheit in die Zukunft möglich, dennoch ist angesichts der für die Zukunft erwarteten höheren Jahresniederschläge und Temperaturen mit einer Zunahme der Regenerosivität zu rechnen.

Aufgrund der Prognosen der regionalen Klimamodelle wird erwartet, dass Starkniederschläge zukünftig im Sommerhalbjahr zunehmen werden. Gleichzeitig wird es wahrscheinlich in den Sommermonaten vermehrt zu Trockenperioden kommen. Die Folgen der häufigeren Starkniederschläge und Trockenperioden sind: Die Verschlämmung und Krustenbildung an der Bodenoberfläche werden begünstigt, die Infiltrationsleistungen der Böden werden geschwächt, Niederschlagswasser kann nicht mehr schnell genug in den Boden infiltrieren, sondern fließt vermehrt oberflächig ab. Diese zu erwartenden Veränderungen infolge des Klimawandels steigern das Erosionsrisiko im Sommerhalbjahr. Auch im Winter ist von einer erhöhten Erosionsgefährdung auszugehen, weil bei höheren Winterniederschlägen vermehrt Sättigungsflächenabfluss auftreten kann. Gleichzeitig fällt der Niederschlag im Winter zunehmend als Regen und weniger als Schnee; auch dadurch kann sich das Erosionsgeschehen verändern.

Für die Erosionsgefährdung durch sommerliche Starkniederschläge sind vor allem die Zeiträume Mai bis Mitte Juni und August bis September problematisch, weil die Ackerböden in diesen Zeiten häufig nicht ausreichend durch Pflanzen vor erosiven Niederschlägen geschützt sind. Im Mai bis Mitte Juni sind zum Beispiel Mais, Kartoffeln oder Zuckerrüben noch nicht gut entwickelt, die Bodenbedeckung ist unzureichend. Im August und September – nach der Ernte von Sommer- und Wintergetreide oder anderen früh räumenden Ackerfrüchten – haben die Zwischenfrüchte oder nachfolgende Winterkulturen häufig noch keine dichten Bestände ausgebildet (Abb. 14).

Abbildung 14: Bodenbedeckung von Kulturpflanzen im Jahresverlauf. Blau hinterlegt sind die Hauptphasen der Bodenerosion. (Quelle: Neuhaus et al. 2010)



INFO PROZESSE DER BODENEROSION DURCH WASSER

Zerstörerischer Ablauf: Wie Bodenerosion durch Wasser entsteht
Zunächst verschlämmt die Bodenoberfläche, das Porensystem wird durch abgelöste Bodenpartikel verstopft. Danach fließt das Wasser in Gefällerichtung ab, zuerst als flächenhafter Abfluss. Dabei wird die Bodenoberfläche nahezu gleichmäßig bis zu einigen Millimetern Mächtigkeit abgespült.

In kleineren Geländeunebenheiten fließt das Wasser zusammen und bildet Rillen und Rinnen aus. In Hangmulden sammelt sich der Abfluss, dort können tiefe Gräben ausgespült werden.

Am Hangfuß, auf Straßen, in Siedlungen oder in Biotopen sedimentiert ein Großteil des abgetragenen Bodens wieder. Zudem wird erodiertes Bodenmaterial in Oberflächengewässer eingetragen.

Folgen der Erosion für Böden und Pflanzen: Onsite-Schäden
Auf den Erosionsflächen selbst fehlt der abgetragene, nährstoffreiche und zugleich humose Oberboden. Die Bodenfruchtbarkeit nimmt ab, das Pflanzenwachstum wird beeinträchtigt, die Standortheterogenität nimmt zu, das Produktionsrisiko steigt. Diese so genannten „Onsite-Schäden" vermindern also die Standortqualität.

Gefahr für Gewässer und Infrastruktur: Offsite-Schäden
Dort, wo erodiertes Bodenmaterial eingetragen wird oder sedimentiert, wird es als störend oder schädlich bewertet. Pflanzen werden verschüttet, Biotope oder Gewässer durch Nährstoffeinträge eutrophieren, Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen oder anderen Kulturgütern entstehen. Diese so genannten „Offsite-Schäden" führen damit zu Beeinträchtigungen benachbarter Schutzgüter.

Frühzeitig eingreifen: Wie sich die Gefahr von Bodenerosion mindern lässt
Kleine Erosionsereignisse können in der Regel mit konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaatverfahren weitgehend vermieden oder zumindest stark reduziert werden. Falls es das Ausmaß der Bodenerosion erfordert, müssen Landwirte allerdings zusätzliche Maßnahmen ergreifen, wie beispielsweise die Anlage von Filterstreifen oder die Änderung der Wegeführung. Bei besonders stark von Erosion bedrohten Flächen müssen diese in letzter Konsequenz in Grünland oder andere Dauervegetationsformen umgewandelt werden. Weitere Informationen zu möglichen Anpassungsmaßnahmen enthält das nachfolgende Kapitel.

Verschiedene Formen der Bodenerosion: Verschlämmung, Rille, Rinne, Graben (v.l.n.r.).










Schädliche Spuren: Durch höhere Niederschläge im Winter, höhere Temperaturen und Starkniederschläge im Sommer nehmen die Vernässungs- und Verdichtungsgefahren nach Befahren mit schwerem Gerät in der Landwirtschaft deutlich zu.

Bodenfröste im Winter werden weniger, die Befahrbarkeit der Böden nimmt ab

Bodenverdichtung

Ganzjährig höhere Temperaturen, höhere Niederschläge im Winter und vermehrte Starkniederschläge im Sommer: Diese Klimaänderungen werden nicht ohne Folge für die Befahrbarkeit von Böden bleiben.

Die Vernässung der Böden wird zunehmen, im Winter dauerhaft, im Sommer kurzfristig nach Starkniederschlägen. Damit gehen zunehmende Verdichtungsgefährdungen der Böden einher.

In die gleiche Richtung wirkt auch die geringere Wahrscheinlichkeit für Bodenfröste. Zum einen fehlen zukünftig weitgehend Zeitspannen, in denen eine Befahrung auf gefrorenem Boden im Winter ohne Gefügeschäden möglich sein wird. Zum anderen wird durch die selteneren und nicht mehr so tief in den Boden einwirkenden Frostperioden die Selbstregeneration des Bodengefüges – die so genannte Frostgare – weniger wirksam sein oder gänzlich ausbleiben.

Der ausbleibende Bodenfrost wird nicht nur für die Landwirtschaft ein Problem darstellen. Auch die Forstwirtschaft wird künftig vermehrt darauf achten müssen, Gefügeschäden zu vermeiden.

Speziell bei Baumaßnahmen wird das geänderte Bodenfeuchteregime im Zuge des Klimawandels ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Aus naturschutzfachlichen Zielvorstellungen werden Baumaßnahmen häufig außerhalb der Vegetationsperiode oder der Brutzeiten schutzwürdiger Vogelarten durchgeführt. Damit liegen die Bauzeitenfenster in vielen Fällen im Winterhalbjahr, welches durch zumeist sehr hohe Bodenwassergehalte gekennzeichnet ist.

Der Klimawandel lässt erwarten, dass die Vernässung im Winterhalbjahr tendenziell zunimmt und die ohnehin raren Bodenfröste noch seltener eintreten. Deshalb ist bei baulichen temporären Bodeninanspruchnahmen im Winterhalbjahr – wie zum Beispiel beim unterirdischen Leitungsbau – mit höheren Verdichtungsgefährdungen zu rechnen. Zur Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen muss die mechanische Belastbarkeit der Böden zukünftig noch stärker berücksichtigt werden.

Stoffausträge in das Grundwasser

Der Stoffhaushalt der Böden wird im Wesentlichen von Temperatur und Feuchtigkeit einerseits sowie vom Bodenleben und Pflanzenwachstum anderseits bestimmt. Höhere Temperaturen steigern den Stoffumsatz, die Abbaurate der organischen Bodensubstanz (Humus) wird erhöht, das Bodenleben wird aktiviert und das Pflanzenwachstum gesteigert. Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit von Wasser. Ist es zu trocken, werden die Prozesse ebenso gehemmt wie bei nassen, wassergesättigten und dadurch anaeroben Bedingungen.





Dürreperioden mit weiteren unerwünschten Nebenwirkungen: Ertragsausfälle aufgrund von Trocken- oder Erosionsschäden erhöhen die Auswaschungsgefahr von Nitrat, da der Düngestickstoff von den Pflanzen nicht voll genutzt werden kann.

Sind die Böden jedoch feucht und durch große Bodenporen ausreichend mit Sauerstoff versorgt, steigert jede Temperaturerhöhung den Stoffumsatz.

Aus Böden werden lösliche Stoffe wie zum Beispiel Nitrat, Sulfat oder Calcium mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Auch nicht gut lösliche Stoffe, zu denen unter anderem ein Großteil der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe gehört, lassen sich im Sickerwasser und letztendlich im Grundwasser nachweisen. Diese Stoffe werden aus dem Oberboden insbesondere bei sehr schnellen Fließprozessen in Makroporen ausgewaschen, wenn die Filter- und Pufferwirkung der Bodenmatrix nicht wirksam werden kann. Ferner findet ein Transport gekoppelt an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC = dissolved organic carbon) statt; so gelangen selbst schwer lösliche Stoffe in die Sickerwasserpassage.

Durch den Klimawandel können die Austragungsraten von Nährstoffen steigen

Der Klimawandel wirkt auf die Verfügbarkeit austragsrelevanter Stoffe und die Sickerwassermenge ein. Höhere Bodentemperaturen regen das Bodenleben und damit die Mineralisierung der organischen Substanz an. Nährstoffe und Mineralien werden in leicht löslicher Form freigesetzt, so dass die Austragsraten ansteigen können. Gleichzeitig kann die Gefahr des Austrags von Nährstoffen durch zunehmende Wetterextrema verstärkt werden.

Die landwirtschaftliche Produktionssicherheit wird infolge der erwarteten stärkeren Witterungsschwankungen abnehmen. Die Wahrscheinlichkeit für Missernten wird ansteigen, und das sowohl aufgrund zeitweiliger Trockenheit als auch extremer Starkniederschläge. Dadurch kann die Düngungsbemessung erschwert werden – vor allem die Stickstoffdüngung wird an einer Ertragserwartung ausgerichtet. Werden die Erträge aufgrund von Wetterextrema nicht erreicht, verbleibt ein leicht löslicher, mineralischer Stickstoffüberschuss in Form von Nitrat im Boden. Dieses erhöhte Nitratangebot ist über den Sickerwasserpfad besonders auswaschungsgefährdet. Verstärkt wird diese Gefährdung zudem durch zunehmende Niederschläge im Winter, da mehr Sickerwasser gebildet wird.

Ob die zukünftig zu erwartende erhöhte Nährstoffverfügbarkeit und erhöhte Auswaschungsgefährdung durch ein ebenfalls angeregtes Pflanzenwachstum abgepuffert werden, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden. Deutlich wird jedoch, dass der Stoffhaushalt der Böden sehr komplex auf die erwarteten Klimaänderungen reagiert. Austräge infolge von Wetterextrema werden wahrscheinlicher.

Anpassungsstrategien des Bodenschutzes

Sortenwahl anpassen, Boden sanft bearbeiten – so lassen sich die negativen Folgen des Klimawandels abmildern.

Höhere Temperaturen, längere Vegetationsperioden, mehr Wasserbedarf bei gleichzeitig trockeneren Sommern – die Landwirtschaft kann die dadurch bedingten Risiken des Klimawandels mit angepassten Bewirtschaftungsmaßnahmen begrenzen. Die Anpassungsstrategien zielen darauf ab, die möglichen negativen Folgen des Klimawandels für Böden als Pflanzenstandort entweder zu vermeiden oder so weit wie möglich zu verringern. In der Landwirtschaft bieten sich folgende angepasste pflanzenbauliche Maßnahmen, Bodenbearbeitungsverfahren und Düngungsmaßnahmen an (vgl. Broschüre „Klimawandel und Landwirtschaft").

Sorten- und Artenauswahl
Landwirte sollten bevorzugt solche Pflanzensorten und -arten anbauen, die Hitze und Trockenheit besser vertragen. Beispielsweise sind Wintergetreide weniger anfällig gegen Frühjahrs- und Sommertrockenheit als Sommergetreide.

Fruchtfolgegestaltung
Der Anbau eines möglichst breiten Fruchtartenspektrums verringert die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen hoher Ernteausfälle bei einzelnen Anbaufrüchten aufgrund von Wetterextrema. Weiterhin sind vielfältige Fruchtfolgen gut für die Humusversorgung der Böden. Ein Wechsel zwischen Winter- und Sommerfrüchten, Halm- und Blattfrüchten sowie die Integration von Zwischenfrüchten zur Gründüngung stellen sicher, dass auf Humus zehrende Ackerfrüchte unmittelbar Humus mehrende Ackerfrüchte folgen. Damit werden einseitige Anbaubedingungen vermieden. Enge Fruchtfolgen, in denen zum Beispiel Silo- oder Biogasmais alle drei Jahre oder häufiger angebaut werden, verursachen schnell eine negative Humusbilanz. Der infolge steigender Temperaturen erwartete erhöhte Schädlings- und Krankheitsbefall kann ebenfalls mit einer möglichst vielfältigen Fruchtfolge eingegrenzt werden.

Weniger anfällig bei wenig Regen: Wintergetreide hält Trockenheit besser stand.



Fruchtfolgen, die den Boden möglichst ganzjährig effektiv begrünen, tragen auch zum Schutz des Grundwassers bei. So können leicht lösliche Nährsalze wie Nitrat in Biomasse biologisch festgelegt und damit der Auswaschung entzogen werden. Ein Brachliegen von Ackerböden im Winter sollte zukünftig so weit wie möglich vermieden werden – nicht nur aus Sicht des Grundwasserschutzes, sondern auch hinsichtlich des Bodenschutzes vor Erosion. Die Anforderungen an die Zwischenbegrünung nach der Ernte im August und September werden ansteigen. Einerseits müssen die Zwischenfrüchte mögliche Nährstoffüberhänge aufgrund von Missernten möglichst effektiv aufnehmen, andererseits ist der Begrünungserfolg durch häufigere Trockenperioden und Starkregen in dieser Zeitspanne gefährdet. Sorgfältige, an den Wetterverlauf angepasste Saattechniken und die Verwendung von Saatmischungen können den Begrünungserfolg absichern.

Aussaattermine
Längere Vegetationsperioden erlauben die frühere Aussaat von Sommerungen. Wenn es im auslaufenden Frühjahr oder Frühsommer zu Trockenheit kommt – wie in den letzten Jahren vermehrt beobachtet werden konnte – sind die Pflanzen dann bereits weiterentwickelt und haben den Boden tiefer durchwurzelt. Hier bleibt abzuwarten, wie sich die Gefahr der Spätfröste entwickelt und was daraus für das Vorziehen der Aussaattermine folgen wird.

Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren
Die Verdunstung von der Bodenoberfläche wird durch das Bearbeitungs- und Bestellverfahren beeinflusst. Mulchsaatverfahren und konservierende, nichtwendende Bodenbearbeitungsver-



Hält das Wasser dort, wo es gebraucht wird: Mulchsaat reduziert die unproduktive Verdunstung, so dass den Pflanzen mehr Wasser zur Verfügung steht.

fahren reduzieren die Verdunstung von der Bodenoberfläche. Gleichzeitig wird der oberflächige Wasserabfluss verringert. Beide Effekte bewirken, dass mehr Wasser für das Pflanzenwachstum zur Verfügung steht. Damit können im gewissen Umfang niederschlagsarme Perioden überbrückt werden, ohne dass Trockenschäden an den Pflanzen auftreten.

Düngung

Eine bedarfsgerechte Düngung mit organischen Substanzen wie Wirtschaftsdünger (Mist, Jauche, Gülle) oder Komposten sichert den Humuserhalt ab und bringt Nährstoffe in den Kreislauf zurück. Die Bodenfruchtbarkeit bleibt erhalten, gleichzeitig wird das Bodengefüge positiv beeinflusst.

Die infolge des Klimawandels wahrscheinlich erhöhte Auswaschungsgefährdung kann mithilfe angepasster Düngungsstrategien eingegrenzt werden. Praxis- und Demonstrationsversuche der vergangenen Jahre in der Landwirtschaft zu gesplitteten N-Düngungsverfahren, zur Ermittlung des N-Bedarfs in wachsenden Pflanzenbeständen mit Sensoren, zur teilflächenspezifischen Düngung oder zu Düngedepots haben



Sprühstärke: Die gezielte Düngung mit organischen Substanzen trägt zum Humuserhalt bei.

deutlich gemacht, dass noch viele Möglichkeiten zur Verbesserung der Düngepraxis bereitstehen. Dadurch lässt sich auch die notwendige Anpassung an zukünftig geänderte Klimabedingungen vorantreiben.

Erosionsschutz

Die vorgenannten einzelnen Maßnahmen sind von besonderer Bedeutung bei der Reduzierung der infolge des Klimawandels zunehmenden Erosions- und Verdichtungsgefährdungen. Dazu sind die landwirtschaftlichen Maßnahmen nicht einzeln, sondern als aufeinander abgestimmtes Bewirtschaftungssystem umzusetzen.

Böden werden vor Erosion effektiv geschützt, wenn sie von einem dichten Pflanzenbestand und/oder einer dichten Mulchschicht bedeckt sind. Ein dichter Pflanzenbestand schützt den Boden nicht nur vor dem Aufprall der Regentropfen, sondern stabilisiert ihn gleichzeitig durch die Pflanzenwurzeln. Zudem wird das Bodenleben angeregt, das Bodengefüge stabilisiert und die Bildung von ausreichend großen Bodenporen gefördert. Das Erosionsrisiko wird weiterhin reduziert durch eine gute Humusversorgung. All das trägt dazu bei, dass die Bodenaggregate stabil sind, die Bodenoberfläche nicht verschlämmt und das Wasser ungehindert und schnell in den Boden infiltrieren kann.
Die Anpassungsstrategie muss demnach auf eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung und ein funktionstüchtiges Bodengefüge abzielen (vgl. LUA 2006, LWK 2007):

- Die Bodenbearbeitung und Fruchtfolge müssen dementsprechend angepasst werden.

- Die Bodenbearbeitung muss Gefüge schonend erfolgen. Übermäßige Belastungen

durch schwere Maschinen und häufige Befahrungen gilt es zu vermeiden.

- Anstelle wendender Bodenbearbeitungsverfahren empfehlen sich konservierende Bearbeitungsverfahren.

Fruchtfolge ist für Erosionsgefahr entscheidend

Auch die Fruchtfolge ist für die tatsächliche Erosionsgefährdung entscheidend. Reihenfrüchte wie Mais, Zuckerrüben oder Kartoffeln sind stärker erosionsgefährdet als Getreidekulturen. Ganz wesentlich ist der Jahresgang der Bodenbedeckung durch den Pflanzenbestand. Ist der Boden in Zeitspannen mit häufigen Starkniederschlägen (Mai bis September) durch einen dichten Pflanzenbestand geschützt, wird die tatsächliche Erosionsgefährdung auch unter geänderten Klimabedingungen weitgehend reduziert.

Frühere Aussaat schützt vor Bodenabtragungen

Die Einflussmöglichkeiten der Bodenbearbeitung und Fruchtfolge auf die Erosionsgefährdung werden im so genannten C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung zusammengefasst (siehe Info-Kasten ‚ABAG', Seite 13). Inwieweit eine jahreszeitliche Verschiebung der Erosivität tatsächlich vermehrt Erosionsschäden auslösen wird, hängt ganz wesentlich von der Ackerbewirtschaftung ab. Die große Erosionsgefahr bei Reihenfrüchten in den Monaten Mai bis Mitte Juni könnte beispielsweise durch eine frühere Aussaat – insbesondere als Mulchsaat – und damit eine frühere Bodenbedeckung kompensiert werden. Andererseits könnte die zunehmende Regenerosivität in den Monaten August und September noch verschärft werden, weil der Anbauerfolg von Zwischenfrüchten aufgrund häufigerer Trockenperioden geschmälert wird. Den erhöhten Erosionsgefahren im Winter infolge von höheren Niederschlägen und vermehrtem Sättigungsabfluss kann durch die Auswahl dichterer Winterkulturen wie Wintergerste, Winterroggen oder Winterraps entgegengewirkt werden. Winterweizen würde zurückgedrängt, was jedoch aufgrund seiner höheren Deckungsbeiträge betriebswirtschaftliche Nachteile mit sich bringen würde.

Reißender Strom: Durch an der Oberfläche abfließendes Wasser können Sedimente in Gewässer eingetragen werden.



Insgesamt erscheint die Veränderung der Regenerosivität weniger bedeutend für die tatsächliche Erosionsgefährdung in der Zukunft als die zu erwartenden Veränderungen der Fruchtfolgen. Wird beispielsweise zukünftig vermehrt Mais angebaut (wie das derzeit infolge des Biogasbooms zu beobachten ist und aufgrund zunehmender Temperaturen auch in den höheren Mittelgebirgslagen möglich sein wird) wird dadurch die tatsächliche Erosionsgefahr deutlich zunehmen – es sei denn, es werden erosionsmindernde Verfahren wie Mulch- oder Direktsaat oder Untersaaten eingesetzt. Sollte darüber hinaus noch weiteres Grünland in Acker für den Maisanbau umgewandelt werden, verstärkt sich die tatsächliche Erosionsgefahr um ein Vielfaches.

Neben den Anpassungsmöglichkeiten der Bodenbearbeitung und Fruchtfolge können Landwirte der Erosionsgefährdung auch durch weitergehende Maßnahmen entgegenwirken. Zur Abschwächung der steigenden Erosionsgefahr mit zunehmender Hanglänge in Fließrichtung des Oberflächenabflusses können sie Grünstreifen anlegen, in denen der Oberflächenabfluss wieder versickern kann. Unterhalb der Grünstreifen nimmt die Erosionsgefährdung ab. Die Grünstreifen können als Gras-/Krautstreifen entweder jährlich wechselnd an unterschiedlichen Stellen erosionsgefährdeter Hänge oder mehrjährig angelegt werden. Auch sind dauerhafte Gehölzstreifen möglich. Die Gehölzstreifen können klassisch als landschaftsstrukturelle Hecken angelegt werden und damit neben dem Erosionsschutz auch den Zielen des Landschaftsschutzes dienen. Weiterhin sind als neue Nutzungsoption auch Energieholzstreifen denkbar, die im Kurzumtrieb alle drei bis zehn Jahre zur Hackschnitzelgewinnung bewirtschaftet werden.



Der Boden guckt in die Röhre: Verdichtungsschäden beim Rohrleitungsbau.

Neben der Anlage von Grünstreifen kann der potenziellen Erosionsgefährdung bei langen Hängen auch durch den streifenförmigen, wechselnden Anbau von Kulturen mit unterschiedlichen C-Faktoren begegnet werden. Dabei folgt einer erosionsgefährdeten Kultur mit einem hohen C-Faktor wie beispielsweise Mais in Gefällerichtung eine Kultur mit niedrigem C-Faktor. Hier tritt der gleiche Effekt ein, wie er bereits für die Grünstreifen beschrieben wurde. In den Streifen, in dem die Kultur mit niedrigem C-Faktor angebaut wird, kann Oberflächenabfluss aus der oberliegenden erosionsgefährdeten Kultur wieder versickern, der Erosionsprozess wird unterbrochen. Werden lange erosionsgefährdete Hänge von verschiedenen Landwirten bewirtschaftet, ist für einen wirksamen Streifenanbau eine Abstimmung der Bewirtschafter hinsichtlich der Kulturartenauswahl notwendig.

Verdichtungsgefährdung verhindern

Auf die Veränderungen der Verdichtungsgefährdung der Böden kann mit technischen Lösungen reagiert werden. Fahrzeuge und Geräte, die über offene Böden fahren, sind hinsichtlich ihrer Gesamtmasse und ihres spezifischen Flächendrucks an die Tragfähigkeit der Böden anzupassen. Geeignet sind unter anderem bodenschonende Fahrwerke wie Breit- beziehungsweise Terrareifen mit niedrigem Reifeninnendruck und großer Aufstandsfläche oder Bandlaufwerke. Leichtere Maschinen und Geräte sowie geringere Zuladungsmassen tragen ebenfalls zum Schutz des Bodengefüges bei.

Weiterhin sollten die Bewirtschafter die Häufigkeit der Befahrungen reduzieren und den Zeitpunkt an die Bodenfeuchteverhältnisse anpassen. In Zeiten hoher Bodenfeuchte sollten Befahrungen unterlassen werden. Nur so lässt sich das Bodengefüge vor Schäden schützen. Um die Befahrbarkeit zu beurteilen, sollten Vor-Ort-Messungen mit Tensiometern, Sensoren zur Ermittlung der Fahrspurtiefen oder die Beurteilung der Konsistenz von Böden durchgeführt werden (MKULNV 2010).

Sind die Böden nicht tragfähig, dann sollten die notwendigen Bewirtschaftungsmaßnahmen zeitweise ausgesetzt werden, bis die Bodenfeuchte wieder soweit abgenommen hat, dass Befahrungen ohne Gefügeschäden möglich sind.

Darüber hinaus unterhält der Geologische Dienst sechs über Nordrhein-Westfalen verteilte Messstationen, die kontinuierlich die Bodenfeuchte ermitteln. Dieses Messnetz lässt sich nutzen, um die Befahrbarkeit von Böden in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte zu beurteilen. Da derzeit nur sechs Messstellen in Nordrhein-Westfalen zur Verfügung stehen, kann anhand der Daten nicht direkt auf die Befahrbarkeit einzelner Ackerschläge geschlossen werden, dazu sind die Böden jeweils vor Ort zu beurteilen. Gleichwohl zeigen die Messstationen typische Jahresverläufe von Bodenfeuchten auf, aus denen allgemeine Schlussfolgerungen zur saisonalen Befahrbarkeit von Böden abgelesen werden können.

Im Zuge von Baumaßnahmen mit temporärer Inanspruchnahme von Böden sollten prinzipiell die gleichen technischen und zeitlichen Anpassungsstrategien zur Vermeidung von Verdichtungsgefährdungen herangezogen werden, wie sie für die landwirtschaftliche Bodennutzung weiter oben beschrieben sind. Zur Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen wird die mechanische Belastbarkeit der Böden zukünftig noch stärker berücksichtigt werden müssen. Derartige bodenschutzfachliche Einschätzungen sollten bei Baumaßnahmen am besten durch eine eigenständige bodenkundliche Baubegleitung vorgenommen werden. Die bodenkundliche Baubegleitung kann dafür Sorge tragen, dass nach Abschluss der Baumaßnahmen die Böden noch als hochwertige und leistungsfähige Standorte für die Pflanzenproduktion zur Verfügung stehen. Weitere Informationen unter: http://www.lanuv.nrw.de/bodenschutz-beim-bauen.

Fazit und Ausblick

Grundsätzlich sind die sich abzeichnenden Risiken für nordrhein-westfälische Böden infolge des Klimawandels nach derzeitigem Kenntnisstand beherrschbar. Im Zuge des Klimawandels werden erhöhte Gefahren für die Böden durch stärkere Vernässungen oder Austrocknungen, durch vermehrten Humusabbau und höhere Erosionsraten erwartet. Auch wird davon ausgegangen, dass die Verdichtungsrisiken ansteigen. All dies kann die Sicherheit für die Pflanzenproduktion reduzieren. Sinken die Erträge infolge von Wetterextrema, resultieren dadurch nicht nur finanzielle Schäden für die Landwirte: Auch Beeinträchtigungen des Grundwassers durch erhöhte Stoffauswaschungen aus den Böden können dadurch ausgelöst werden.

Die möglichen Risiken wurden in dieser Broschüre umfassend beschrieben sowie zahlreiche und hilfreiche Anregungen gegeben, wie durch angepasste Bewirtschaftungsverfahren diesen Risiken begegnet werden kann. So bieten Änderungen in der Fruchtfolge, Bestellung (Aussaat), Bodenbearbeitung und Düngung viele Möglichkeiten, die Böden als produktive Pflanzenstandorte zu erhalten. Darüber hinaus gibt die Broschüre spezielle Hinweise zur Verdichtungsgefährdung in der Bauwirtschaft, die sich auf stärkere Vernässungen der Böden im Winterhalbjahr einstellen muss. Um die noch vorhandenen Wissensdefizite im Bereich „Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden als Pflanzenstandort“ zu schließen, werden laufend neue Projekte vom Land Nordrhein-Westfalen initiiert. So beteiligt sich beispielsweise die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen aktiv an der stetigen Fortentwicklung von Verfahren zur schonenden Bodenbewirtschaftung.

Angesichts des bereits vorhandenen Wissens bleibt festzuhalten: Die Risiken für Böden als Pflanzenstandort in Nordrhein-Westfalen sind weitgehend bekannt. Anpassungsstrategien stehen zur Verfügung und können von der landwirtschaftlichen Praxis aufgegriffen werden.



Den Boden auch in Zukunft immer im Blick: Messstationen des Geologischen Dienstes erfassen landesweit Bodenfeuchte und -temperatur.

Anhang

Literatur

Elhaus, D. (2009): Kontinuierliche Messung der Bodenfeuchte in NRW. 2. Zwischenbericht. Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen; Krefeld.

Hädicke, A., Jacobs, G., Steudte-Gaudich, R. (2010): Humusmonitoring-Projekt Nordrhein-Westfalen. Zwischenergebnisse des laufenden Projektes, unveröffentlicht. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; Essen.

Koch, D. (2010): Langzeit-Entwicklung der Bodentemperaturen in verschiedenen Naturräumen Nordrhein-Westfalens. Diplomarbeit; Geographisches Institut der Universität zu Köln.

LANUV NRW (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Daten und Hintergründe. Fachbericht 27; Recklinghausen.

LUA NRW (2006): Maßnahmen zur Minderung von Bodenerosion und Stoffabtrag von Ackerflächen. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Band 19; Essen.

LWK NRW (2007): Bodenerosion durch Wasser. Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW; Münster.

MKULNV NRW (2010): Bodenverdichtungen vermeiden, Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen – mit Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen im Feld; Düsseldorf.

MUNLV NRW (2009): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf.

Neuhaus, P., Fiener, P., Botschek, J. (2010): Einfluss des globalen Klimawandels auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschlagserosivität in NRW. Abschlussbericht, Projekt im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Geographisches Institut der Universität zu Köln und Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Universität Bonn.

Preger, A. C., Welp, G., Marquardt, U., Koleczek, B. und Amelung, W. (2006): Humusgehalte in nordrhein-westfälischen Ackerböden: Aktueller Status und zeitliche Entwicklung. Projekt im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen; Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Bereich Bodenwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Schwertmann, U., Vogl, W., Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen; Stuttgart.

Sträter, E., Straub, W., Koch, C. (2010): Die Klimaentwicklung in NRW. Natur in NRW 1/2010, S. 39–42. Herausgegeben vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; Recklinghausen.

Welp, G., Amelung, W. (2010): Bestimmung von organischem Kohlenstoff und C-Pools (POM, BC) in Bodenproben des Intensiv- und Extensivprogramms (Humusmonitoring) mittels konventioneller Techniken und mittels MIRS-PLSR. Abschlussbericht, Projekt im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Bereich Bodenwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Wendland, M., Diepolder, M., Offenberger, K., Raschbacher, S. (2007): Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt aus der Sicht der Pflanzenernährung und des Gewässerschutzes. In: Klimaänderung und Landwirtschaft – Bestandsaufnahme und Handlungsstrategien für Bayern, Tagungsband des 6. Kulturlandschaftstages. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Heft 13, S. 39 ff; Freising.

Linkliste

Nordrhein-Westfalen

Internetseite des MKULNV NRW zum Klimawandel:
http://www.klimawandel.nrw.de

Internetseite des LANUV NRW zum Klimawandel:
http://www.lanuv.nrw.de/klima/home_klima.htm

Klimaanpassungsprojekte des Landes NRW im Bereich Landwirtschaft und Boden:
http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/index.php

Klimaanpassungsprojekte des Landes NRW im Bereich Wald und Forstwirtschaft:
http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/wald_und_forstwirtschaft/index.php

Klimaanpassungsprojekte des Landes NRW im Bereich Wasserwirtschaft:
http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/wasserwirtschaft/index.php

Bodenschutz beim Bauen (LANUV):
http://www.lanuv.nrw.de/bodenschutz-beim-bauen

Geologische Messstationen (Geologischer Dienst):
http://bodenkunde.gd.nrw.de/sickerwasser/anzeigen.html

National

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
http://www.bmu.de/klima_energie/doc/41060.php

Umweltbundesamt:
http://www.umweltbundesamt.de/klima-schutz/index.htm

Deutscher Wetterdienst:
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt&_nfls=false

Verband der Landwirtschaftskammern:
http://www.landwirtschaftskammern.de/aktuell.htm
http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/klimawandel.pdf

International

Umweltprogramm der Vereinten Nationen:
http://www.unep.org/climatechange

Europäische Kommission:
http://ec.europa.eu/environment/climat/home_en.htm

Europäische Umweltagentur:
http://www.eea.europa.eu/de/themes/climate

Impressum

Herausgeber und Bezug:
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Referat Öffentlichkeitsarbeit
40190 Düsseldorf

Fachredaktion:
Referat IV-4: Bodenschutz und Altlasten, Deponien (MKULNV)
Referat VII B-1: Raumordnung und Landesplanung, Flächenverbrauch, Klimaanpassung (MKULNV)
Fachbereich 32: Bodenschutz, Altlasten, Ökotoxikologie (LANUV)

Text- und Grafikerstellung, Fotorecherche:
Ingenieurbüro Feldwisch, Bergisch Gladbach

Fotos:
R. Roth / Geologischer Dienst NRW (S. 9, 10); W. Steffens / Geologischer Dienst NRW (S. 9); M. Dworschak / Geologischer Dienst NRW (S. 9, 14, 16, 17); E. Unterseher (S. 9); A. Dickhof / Geologischer Dienst NRW (S. 12); V. Prasuhn (S. 14, 17, 19); N. Feldwisch (4 x S. 15, 18, 21); O. Ehrmann (S. 16); Lohnunternehmen Speller (S. 19); LfULG 2002 (S. 20); D. Elhaus / Geologischer Dienst NRW (S. 22)

Gestaltung:
mpk Medienpool Köln GmbH, Köln (www.medienpool.de)

Druck:
Druckerei Engelhardt GmbH, Neunkirchen

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier mit dem „Blauen Engel".

2. Auflage, Stand: September 2011

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen.
Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.
Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

www.umwelt.nrw.de

